

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08222176  
PUBLICATION DATE : 30-08-96

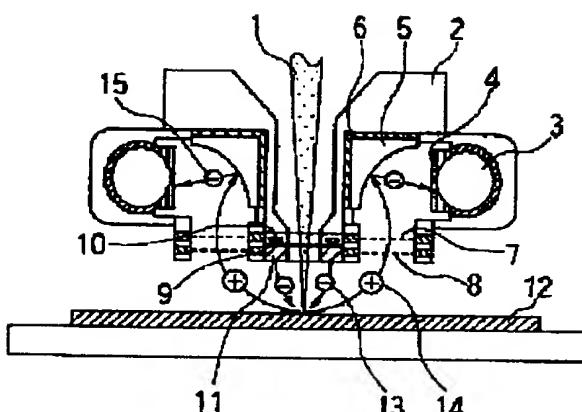
APPLICATION DATE : 17-02-95  
APPLICATION NUMBER : 07028941

APPLICANT : HITACHI LTD;

INVENTOR : SHIMASE AKIRA;

INT.CL. : H01J 37/317 C23C 14/32 H01J 37/28

TITLE : FOCUSED ION BEAM MACHINING  
METHOD AND MACHINING DEVICE



ABSTRACT : PURPOSE: To accurately observe and machine a work with a mechanism automatically neutralizing the charge-up by thermoelectrons and a mechanism selectively detecting the energy of the secondary ions emitted from the machining surface even if there is an electric insulator.

CONSTITUTION: The charge-up on the surface of a work 12 irradiated with a focused ion beam 1 is automatically neutralized by the neutralizing electrons 13 emitted from a thermoelectron emitting electrode 11 connected and fixed to a heating heater 9 via an insulator 10. The secondary ions 14 from the machining surface are selected and detected energy-wise by energy selecting mesh electrodes 7, 8, an ion-electron converting electrode 5, a scintillator 4, and a light guide 3, and a SIM image is observed.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 01 J 37/317		9508-2G	H 01 J 37/317	Z
C 23 C 14/32			C 23 C 14/32	F
H 01 J 37/28			H 01 J 37/28	Z

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平7-28941

(22)出願日 平成7年(1995)2月17日

(71)出願人 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 水村 通伸  
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 濱村 有一  
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 嶋瀬 朗  
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(74)代理人 弁理士 薄田 利幸

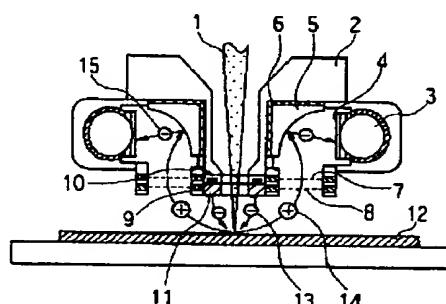
(54)【発明の名称】集束イオンビーム加工方法および加工装置

## (57)【要約】

【目的】半導体LSIやその製造用マスクのプロセス解析、不良解析、パターン修正加工のために集束イオンビームを用いて微細加工する際に、電気的絶縁物があっても、熱電子による自動チャージアップ中和機構と、加工表面から放出された二次イオンのエネルギーを選択的に検出する機構とによって、電気的絶縁物の加工を位置ずれすることなく正確に観察・加工できる集束イオンビーム加工方法と加工装置とを提供する。

【構成】集束イオンビーム1の照射された加工対象物12の表面のチャージアップを、加熱用ヒータ9と絶縁物10を介して接続固定された熱電子放出電極11から放出された中和電子13により自動的に中和し、加工表面からの二次イオン14を、エネルギー選択メッシュ電極7、8と、イオン-電子変換電極5と、シンチレータ4と、ライトガイド3とによってエネルギー的に選択して検出し、SIM像を観察する。

図1



1...集束イオンビーム  
 3...ライトガイド  
 4...シンチレータ  
 5...イオン-電子変換電極  
 6...絶縁物  
 7...第1エネルギー選択メッシュ  
 8...第2エネルギー選択メッシュ  
 9...加熱用ヒーター  
 10...耐熱性・高熱伝導性絶縁物  
 11...熱電子放出電極  
 12...加工対象物  
 13...中和電子  
 14...二次イオン  
 15...二次電子

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ①集束イオンビームを絶縁物試料に照射することによって照射領域を加工するパターン形成工程と、②集束イオンビームを照射するに際し、少なくともイオン照射領域に電子シャワーを浴びせて、イオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する工程とを有して成る集束イオンビーム加工方法において、②のイオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程を、耐熱性と高熱伝導性とを有する絶縁膜によって電気的に絶縁された加熱ヒーターを加熱することにより、隣接する熱電子放出電極を加熱して熱電子を放出させ、イオン照射領域に蓄積された電荷を、試料のイオン照射領域と熱電子放出電極との間に生じる電位差に応じて自動的に中和する工程として成る集束イオンビーム加工方法。

【請求項2】 ①集束イオンビームを絶縁物試料に照射することによって照射領域を加工するパターン形成工程と、②集束イオンビームを照射するに際し、少なくともイオン照射領域に電子シャワーを浴びせて、イオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する工程とを有して成る集束イオンビーム加工方法において、③のイオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する工程を、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中からエネルギー選択メッシュ電極を介して試料の情報をもった特定の二次イオンを選択的に通過させる段階と、この選択された二次イオンを加速し、イオン-電子変換電極に衝突させて電子を放出させることにより、イオン照射領域から放出された二次イオンを電子に增幅変換する段階と、この增幅変換された電子を検出してS I M像として観察する段階とによって構成して成る集束イオンビーム加工方法。

【請求項3】 ①集束イオンビームを絶縁物試料に照射することによって照射領域を加工するパターン形成工程と、②集束イオンビームを照射するに際し、少なくともイオン照射領域に電子シャワーを浴びせて、イオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する工程とを有して成る集束イオンビーム加工方法において、②のイオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程を、耐熱性と高熱伝導性とを有する絶縁膜によって電気的に絶縁された加熱ヒーターを加熱することにより、隣接する熱電子放出電極を加熱して熱電子を放出させ、イオン照射領域に蓄積された電荷を、試料のイオン照射領域と熱電子放出電極との間に生じる電位差に応じて自動的に中和する工程と共に、③のイオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する工程を、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中からエネルギー選択メッシュ電極を介して試料

の情報をもった特定の二次イオンを選択的に通過させる段階と、この選択された二次イオンを加速し、イオン-電子変換電極に衝突させて電子を放出させることにより、イオン照射領域から放出された二次イオンを電子に增幅変換する段階と、この增幅変換された電子を検出してS I M像として観察する段階とによって構成して成る集束イオンビーム加工方法。

【請求項4】 ①試料に集束イオンビームを照射するイオンビーム照射光学系と、②試料のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する手段とを有して成る集束イオンビーム加工装置において、②のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段を、加熱ヒーターと、この加熱ヒーターとは電気的に絶縁された熱電子放出電極とを有する電荷中和電子源で構成し、この電荷中和電子源により、試料のイオン照射領域と熱電子放出電極との間に生じる電位差に応じて、イオン照射領域に蓄積された電荷を自動的に中和し得る自動チャージアップ中和手段として成る集束イオンビーム加工装置。

【請求項5】 ①試料に集束イオンビームを照射するイオンビーム照射光学系と、②試料のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する手段とを有して成る集束イオンビーム加工装置において、③のイオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する手段を、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中から試料の情報をもった特定の二次イオンを選択的に通過させ得るエネルギー選択メッシュ電極と、このエネルギー選択メッシュ電極により選択された二次イオンを加速してターゲットに衝突させ電子を放出させるイオン-電子変換電極と、この放出された電子を検出してS I M像を観察する手段とにより構成して成る集束イオンビーム加工装置。

【請求項6】 ①試料に集束イオンビームを照射するイオンビーム照射光学系と、②試料のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する手段とを有して成る集束イオンビーム加工装置において、②のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段を、加熱ヒーターと、この加熱ヒーターとは電気的に絶縁された熱電子放出電極とを有する電荷中和電子源で構成し、この電荷中和電子源により、試料のイオン照射領域と熱電子放出電極との間に生じる電位差に応じて、イオン照射領域に蓄積された電荷を自動的に中和し得る自動チャージアップ中和手段と共に、③のイオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する手段を、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中から試料の情報をもった特定の二次イオンを選択的に通過さ

せ得るエネルギー選択メッシュ電極と、このエネルギー選択メッシュ電極により選択された二次イオンを加速してターゲットに衝突させ電子を放出させるイオン-電子変換電極と、この放出された電子を検出してS I M像を観察する手段とにより構成して成る集束イオンビーム加工装置。

【請求項7】自動チャージアップ中和手段を、イオンビーム照射光学系の光路を中心軸として、その周囲に表面が絶縁膜によって被覆された環状の加熱ヒーターと、この加熱ヒーターの絶縁膜を介して、試料面に対向し、しかも接地して配設された加熱ヒーターと同心円状の環状の熱電子放出電極とで構成して成る請求項4もしくは6記載の集束イオンビーム加工装置。

【請求項8】イオン照射領域から放出される荷電粒子の中から二次イオンを選択的に通過させ得るエネルギー選択メッシュ電極を、二次イオンを選択する第2のエネルギー選択メッシュ電極と、この第2のエネルギー選択メッシュ電極との間に減速電界を発生させ、イオン照射領域の試料の情報を持った特定エネルギーのイオン種を選択的に通過させる第1のエネルギー選択メッシュ電極とで構成して成る請求項5もしくは6記載の集束イオンビーム加工装置。

【請求項9】イオン-電子変換電極から放出される電子の検出手段を、電子を光に変換するシンチレータと、光を光検出器まで伝送するライトガイドとで構成し、試料加工表面の凹凸の二次イオンの検出信号を増幅してS I M像のコントラストと輝度を上げるように構成して成る請求項4乃至8いずれか一つに記載の集束イオンビーム加工装置。

【請求項10】イオン-電子変換電極から放出される電子の検出手段を、電子を光に変換するシンチレータと、光を光検出器まで伝送する環状のライトガイドとで構成し、試料加工表面の凹凸の二次イオンの検出信号を増幅してS I M像のコントラストと輝度を上げるように構成して成る請求項4乃至8いずれか一つに記載の集束イオンビーム加工装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、集束イオンビーム加工方法及び加工装置に係り、特に加工対象が電気的絶縁物であっても表面が帯電することなく、鮮明にS I M像(Scanning Ion Microscope像)が観察でき、微細加工を行うのに好適な集束イオンビーム加工方法及び加工装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】近年、半導体LSIやその製造用マスクの加工、マスクのプロセス解析、不良解析、パターン修正加工等のために、イオン源から引き出したイオンビームをイオン光学系により、ミクロンあるいはサブミクロンオーダまでビーム径を集束させ、その集束イオンビ

ムのイオンの物理的衝撃によって直接加工を行ったり、その衝撃に伴って加工面から放出される二次イオンの走査像により加工面を観察することが行われている。

【0003】ほとんどの集束イオンビームで用いられているイオンは正の電荷をもつ。加工対象物が電気的絶縁物である場合には照射された領域に電荷が蓄積され、最終的にはイオンの加速電圧にまでその領域の電圧が上昇する(チャージアップ)。この結果、イオンビームはこの領域には照射できず、チャージアップのない周囲の領域に位置ずれして正確な観察や加工ができないという問題があった。

【0004】観察や加工精度を向上させるためには、このようなチャージアップを防止することが必要であり、これまでにも種々の提案がなされ、イオンビーム照射領域に電子シャワーを浴びさせて中和させることが行なわれている。その代表的なものとして、フィラメントを直接熱電子放出電極として用いたものがある。この場合、加熱のために加熱電流による電位降下により、加工表面と熱電子放出電極との電位差が数ボルト程度大きくなり、正確な中和電流を供給することが困難である。

【0005】また、紫外線により電子を照射できる光電陰極面を、イオン照射と同時に利用することが行われている。イオン照射による加工表面からの二次荷電粒子は電子とイオンであるが、二次電子の放出率の方がはるかに高いにもかかわらず、中和のための電子が存在するために二次イオンを検出せざるおえない。従って、二次電子によるS I M像に比べ鮮明でない二次イオンによるS I M像を観察せざるを得なかった。なお、この種の技術に関連するものとして、例えば特開昭63-10454号公報が挙げられる。

##### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】したがって、本発明の第1の目的は従来の加熱電流による電位降下の影響を排除して、正確な中和ができる改良された集束イオンビーム加工方法及び加工装置を提供することにある。これにより、被加工物が電気的絶縁物であってもチャージアップすることなく、イオンビームの照射位置ずれを防止して高精度に加工できる集束イオンビーム加工方法及び加工装置が実現できる。

【0007】また、第2の目的は従来から検出感度が二次電子に比べて著しく劣るものとされていた二次イオンを検出信号としてS I M像を観察する場合においても、二次電子を検出して観察する場合と実質的に同程度の鮮明なS I M像が得られ、電気的絶縁物であっても、加工領域を常に正確に観察しながら加工できる改良された集束イオンビーム加工方法及び加工装置を提供することにある。

【0008】そして第3の目的はこれら第1及び第2の目的を同時に達成することのできる改良された集束イオンビーム加工方法及び加工装置を提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、本発明においては、加熱用ヒーターと熱電子放出電極からなる電荷中和電子源を採用し、イオンビームによるチャージアップを防ぐ構成とした。

【0010】さらに具体的にこの目的達成手段について詳述すると、上記第1の目的は、①集束イオンビームを絶縁物試料に照射することによって照射領域を加工するパターン形成工程と、②集束イオンビームを照射するに際し、少なくともイオン照射領域に電子シャワーを浴びせて、イオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してSIM像を観察する工程とを有して成る集束イオンビーム加工方法において、②のイオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程を、耐熱性と高熱伝導性とを有する絶縁膜によって電気的に絶縁された加熱ヒーターを加熱することにより、隣接する熱電子放出電極を加熱して熱電子を放出させ、イオン照射領域に蓄積された電荷を、試料のイオン照射領域と熱電子放出電極との間に生じる電位差に応じて自動的に中和する工程として成る集束イオンビーム加工方法によって、達成される。

【0011】また、上記目的は①試料に集束イオンビームを照射するイオンビーム照射光学系と、②試料のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してSIM像を観察する手段とを有して成る集束イオンビーム加工装置において、②のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段を、加熱ヒーターと、この加熱ヒーターとは電気的に絶縁された熱電子放出電極とを有する電荷中和電子源で構成し、この電荷中和電子源により、試料のイオン照射領域と熱電子放出電極との間に生じる電位差に応じて、イオン照射領域に蓄積された電荷を自動的に中和し得る自動チャージアップ中和手段として成る集束イオンビーム加工装置によっても達成される。

【0012】自動チャージアップ中和手段の好ましい構成としては、イオンビーム照射光学系の光路を中心軸として、その周囲に表面が絶縁膜によって被覆された環状の加熱ヒーターと、この加熱ヒーターの絶縁膜を介して、試料面に対向し、しかも接地して配設された加熱ヒーターと同心円状の環状の熱電子放出電極とで構成することである。

【0013】次に、上記第2の目的を達成するために、本発明においては、エネルギー選択メッシュとイオン-電子変換電極とシンチレータとライトガイドからなる二次イオン検出器を採用し、二次イオンによるSIM像のコントラストと輝度を改善して鮮明なSIM像を得られる構成とした。すなわち、エネルギー選択メッシュとして、第1、第2の両メッシュ電極間の空間領域に二次イオンを引き込み、二次イオンの中からイオン照射領域に

おける試料の情報を持った特定エネルギーのイオン種を選択的に第1のエネルギー選択メッシュ電極を通過させる構成とした。

【0014】さらに具体的にこの目的達成手段について詳述すると、上記第2の目的は、①集束イオンビームを絶縁物試料に照射することによって照射領域を加工するパターン形成工程と、②集束イオンビームを照射するに際し、少なくともイオン照射領域に電子シャワーを浴びせて、イオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してSIM像を観察する工程とを有して成る集束イオンビーム加工方法において、③のイオン照射領域から放出される二次イオンを検出してSIM像を観察する工程を、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中からエネルギー選択メッシュ電極を介して試料の情報をもった特定の二次イオンを選択的に通過させる段階と、この選択された二次イオンを加速し、イオン-電子変換電極に衝突させて電子を放出することにより、イオン照射領域から放出された二次イオンを電子に增幅変換する段階と、この增幅変換された電子を検出してSIM像として観察する段階とによって構成して成る集束イオンビーム加工方法により、達成される。

【0015】また、上記第2の目的は、①試料に集束イオンビームを照射するイオンビーム照射光学系と、②試料のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段と、③イオン照射領域から放出される二次イオンを検出してSIM像を観察する手段とを有して成る集束イオンビーム加工装置において、③のイオン照射領域から放出される二次イオンを検出してSIM像を観察する手段を、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中から試料の情報を持った特定の二次イオンを選択的に通過させ得るエネルギー選択メッシュ電極と、このエネルギー選択メッシュ電極により選択された二次イオンを加速してターゲットに衝突させ電子を放出させるイオン-電子変換電極と、この放出された電子を検出してSIM像を観察する手段とにより構成して成る集束イオンビーム加工装置によっても達成される。

【0016】また、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中から二次イオンを選択的に通過させ得るエネルギー選択メッシュ電極の好ましい構成例としては、二次イオンを選択する第2のエネルギー選択メッシュ電極と、この第2のエネルギー選択メッシュ電極との間に減速電界を発生させ、イオン照射領域の試料の情報を持った特定エネルギーのイオン種を選択的に通過させる第1のエネルギー選択メッシュ電極とで構成することである。

【0017】さらにまた、イオン-電子変換電極から放出される電子の検出手段の好ましい構成例としては、電子を光に変換するシンチレータと、光を光検出器まで伝送するライトガイドとで構成し、試料加工表面の凹凸の

二次イオンの検出信号を増幅してS I M像のコントラストと輝度を上げるように構成することである。ライトガイドとしては、環状のライトガイドで構成することが好みしい。

【0018】そして第3の目的は、上記第1と第2の目的達成手段の組合せ、すなわち、②のイオン照射によって蓄積された電荷を中和する工程を、耐熱性と高熱伝導性とを有する絶縁膜によって電気的に絶縁された加熱ヒーターを加熱することにより、隣接する熱電子放出電極を加熱して熱電子を放出させ、イオン照射領域に蓄積された電荷を、試料のイオン照射領域と熱電子放出電極との間に生じる電位差に応じて自動的に中和する工程と共に、③のイオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する工程を、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中からエネルギー選択メッシュ電極を介して試料の情報をもった特定の二次イオンを選択的に通過させる段階と、この選択された二次イオンを加速し、イオン-電子変換電極に衝突させて電子を放出させることにより、イオン照射領域から放出された二次イオンを電子に増幅変換する段階と、この増幅変換された電子を検出してS I M像として観察する段階とによって構成して成る集束イオンビーム加工方法により、達成される。

【0019】また、上記第3の目的は、②のイオン照射領域に蓄積された電荷を電子シャワーを浴びせて中和する手段を、加熱ヒーターと、この加熱ヒーターとは電気的に絶縁された熱電子放出電極とを有する電荷中和電子源で構成し、この電荷中和電子源により、試料のイオン照射領域と熱電子放出電極との間に生じる電位差に応じて、イオン照射領域に蓄積された電荷を自動的に中和し得る自動チャージアップ中和手段と共に、③のイオン照射領域から放出される二次イオンを検出してS I M像を観察する手段を、イオン照射領域から放出される荷電粒子の中から試料の情報をもった特定の二次イオンを選択的に通過させ得るエネルギー選択メッシュ電極と、このエネルギー選択メッシュ電極により選択された二次イオンを加速してターゲットに衝突させ電子を放出させるイオン-電子変換電極と、この放出された電子を検出してS I M像を観察する手段とにより構成して成る集束イオンビーム加工装置によっても、達成される。

#### 【0020】

【作用】電気的絶縁物の加工対象物に照射されたイオンは電荷の流れる道、すなわち電気回路でいう電線にあたるものがないために、照射された領域に滞在しつづける。その結果、正の電荷が蓄積されその領域の電圧が上昇する。加工対象物に對面して設けられた熱電子放出電極は、電流の流れるヒーターにより加熱されて熱電子を放出し始める。熱電子は、1 eV以下の低いエネルギーであるため、チャージアップした領域の微小な電圧の上昇に対しても、敏感に反応して中和を自動的に行うこと

ができる。また、加熱用のヒーターとは電気的に絶縁された熱電子放出電極を用いることにより、加熱電流による電圧降下の影響を受けないために従来に比べ正確な中和ができる。

【0021】また、二次イオンの捕集には、第1及び第2の2枚のエネルギー選択メッシュ電極を採用することにより、二次電子に比べて少ない二次イオンでも加工対象物の表面の凹凸の検出信号のコントラストを、二次電子で検出する場合と同程度に上げることができる。

10 【0022】エネルギー選択メッシュ電極の作用について説明すると、第2のエネルギー選択メッシュ電極には、負の電圧  $V_2$  が印加されており、イオン照射領域から放出される二次荷電粒子の中から二次イオン（陽イオン）だけを選択的に捕集する。そして、第1のエネルギー選択メッシュ電極では、捕集した二次イオンの中から試料表面の情報をもつ特定の二次イオンのみを選択的に通過させる。

20 【0023】この第1のエネルギー選択メッシュ電極に印加される負の電圧  $V_1$  は、その絶対値が第2のエネルギー選択メッシュ電極に印加される電圧  $V_2$  よりも小さく設定され、これら両メッシュ電極間には電位差  $\Delta V = (V_2 - V_1)$  を生じさせ、捕集した二次イオンを減速させる。例えば  $V_2$  を -1 kV とした時、 $V_1$  を -0.8 kV に設定する。それによって、これら2枚のエネルギー選択メッシュ電極間の空間領域に二次イオンは引き込まれる。つまり、エネルギー選択メッシュ電極の機能は、試料表面の凹凸情報をもつ特定の二次イオンのみを選択的に通過することにある。

30 【0024】イオン-電子変換電極（イオンを衝突させるターゲット電極）の作用は、エネルギー選択メッシュ電極で選択的に通過した二次イオンが加速されて衝突することにより二次電子を放出すること、すなわち、イオンビーム照射領域から放出された二次イオンを電子に変換する作用を有する。二次イオンの加速は、イオン-電子変換電極に第1のエネルギー選択メッシュ電極  $V_1$  よりもさらに大きな負の電圧  $V_3$  を印加し、これら両電極間に電位差  $\Delta V_0 = (V_3 - V_1)$  を生じさせることによって行なわれる。

40 【0025】本発明の二次イオン検出手段は、試料面から放出された二次イオンをイオン-電子変換電極によって電子に変換して検出するものであり、電子への変換効率が高い（1個のイオンで数十個の電子を放出する）ことから検出信号強度を増幅する作用を有する。さらにこの変換された電子を検出する手段として、シンチレータとライトガイドとを採用することにより、この信号レベルを増幅して鮮明なS I M像を得ることができる。

50 【0026】このようにチャージアップ防止手段としての中和機構と、高感度の二次イオン検出機構とを採用した本発明の集束イオンビーム加工方法及び加工装置により、電気的絶縁物を正確に観察、加工することができる。

ようになった。

【0027】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図面にしたがって説明する。

(1) 装置構成の説明

図1は、熱電子による自動チャージアップ中和機構（自動的に電子シャワーを浴びせてイオンビーム照射領域のプラス電荷を中和する手段の総称）と、エネルギー選択メッシュおよびイオン-電子変換電極を用いた二次イオン検出機構を採用した集束イオンビーム加工装置の構成の概略を示した断面図である。

【0028】同図において、1は集束イオンビーム、2はイオンビームコラム、3は環状のライトガイド、4はシンチレータ、5はイオン-電子変換電極で、例えばアルミ等の金属からなる環状電極、6はテフロン等の耐熱性有機絶縁物、7は第1エネルギー選択メッシュ電極（例えば環状のステンレス製メッシュ電極）、8は第2エネルギー選択メッシュ電極（例えば環状のステンレス製メッシュ電極）、9は加熱用ヒーター、10は加熱用ヒーター9の表面を覆う耐熱性、高熱伝導性の絶縁物（例えば、アルミナ $Al_2O_3$ 、ムライト $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ 、炭化珪素 $SiC$ 、窒化ホウ素 $BN$ 、窒化珪素 $Si_3N_4$ 、窒化アルミニ $AlN$ 等の無機絶縁物）、11は熱電子放出電極（例えばタンクスチタン等の仕事関数の小さな電子放射材）である。また、12は加工対象物（ガラス等の絶縁物）、13は中和電子、14は加工対象物からの二次イオン、15はイオン-電子変換電極5からの二次電子である。

【0029】図示のように、装置を構成する各要素は集束イオンビーム1の光学系を中心軸として、それを取り巻くように円筒状、もしくは環状構造を有しており、試料台18に保持された加工対象物12の上方に位置するイオンビームコラム2の一端に、自動チャージアップ中和機構を構成する熱電子放出電極11及び絶縁物10を介して接続、固定された加熱用ヒーター9が配設されている。加熱用ヒーター9の構成については、この後の図2で詳細に説明する。

【0030】さらに、この中和機構の外周部にイオン-電子変換電極5を用いた二次イオン検出機構の一部を構成する第1及び第2エネルギー選択メッシュ電極7、8が互いに対向し所定の間隔（5mm）を置いて配設されている。そしてメッシュ電極7、8には、図示されていない電源に接続されて負の異なる電圧 $V_1$ （例えば-0.8kV）、 $V_2$ （例えば-1kVボルト）がそれぞれ印加され、電位差（ $\Delta V = V_2 - V_1 = -0.2kV$ ）が生じるように構成されている。イオン-電子変換電極5にも、図示されていない電源に接続されて負の電圧 $V_3$ （例えば-10kV）が印加され、メッシュ電極7との間に電位差（ $\Delta V_0 = V_3 - V_1 = -9.8kV$ ）が生じるように構成されている。

【0031】(2) 装置の動作説明

先ず、図1を用いて本発明装置の動作を説明する。液体金属イオン源（例えばガリウム金属イオン源）やプラズマイオン源（例えばアルゴンガスイオン源）から引き出されたイオンがイオン光学系により集束され、集束イオンビーム1となって、イオンビームコラム2から加工対象物12に向かって照射される。

【0032】加工対象物2の表面に達した集束イオンビーム1は、加工対象物12の表面を物理的衝撃によって加工する。その際、加工部分から二次的な荷電粒子である二次イオン14が放出される（二次電子も放出されるが、ここでは説明を省略）。

【0033】放出された二次イオン14は、負の電圧 $V_2$ が印加された第2エネルギー選択メッシュ電極8により加速され、第1エネルギー選択メッシュ電極7および第2エネルギー選択メッシュ電極8間に引き込まれる。

【0034】この2電極7、8間に生じる電位差（ $\Delta V_0 = V_3 - V_1$ ）に基づく電界により加速された二次イオン14はイオン-電子変換電極5に衝突して、二次イオン14に対して一定の割合で数個の二次電子15に変換される。この増幅作用によって少ない二次イオン14でも鮮明なSIM像が得られる。

【0035】ところで、加工対象物12が、例えばLSI、さらにはVLSI製造用の石英ガラスマスクのごとき絶縁物である場合、ガラス面をイオンビーム照射によりエッチング加工した時、照射したイオンビーム1のイオンは、正の電荷として加工部（イオン照射領域）に蓄積され、チャージアップ現象を引き起こす。

【0036】この結果、加工部の電圧が上昇して集束イオンビーム1の照射位置がずれを起こしたり、加工対象物12が絶縁破壊してしまう等の問題が起こる。そこで、本発明の装置では加熱用ヒーター9により熱電子放出電極11を加熱して中和電子13を放出させ、加工対象物12の表面に蓄積した電荷を自動的に中和して、加工位置ずれや加工対象物12の電気的破壊を防止する。

【0037】さらに、図2及び図3を用いてチャージアップ中和機構の詳細を、図4～図6を用いてSIM像のコントラスト改善機構の詳細をそれぞれ説明する。

【0038】(3) チャージアップ中和機構の詳細説明  
図2は、図1の要部を模式的に示した部分拡大断面図であり、図中の16は加工対象物からの二次電子、17は集束イオンビームによる蓄積したイオンを示している。

【0039】図2に示したように、集束イオンビーム1により絶縁物の加工対象物12に流れ込む電流111は、電気的に閉回路でないために、集束イオンビーム1の照射後に電荷として照射領域に蓄積され、表面電位の上昇の結果、流れなくなる。このチャージアップ現象を

防止するためには、蓄積イオンの電荷と逆極性の電荷、すなわち電子により中和すればよい。基本的な中和するための条件は、集束イオンビーム1の電流*I<sub>i1</sub>*の大きさと、中和電子*I<sub>e3</sub>*による中和熱電子電流*I<sub>e1</sub>*の大きさが同じになることである。しかし、集束イオンビームの照射による二次荷電粒子による電流として、*I<sub>i2</sub>* (二次イオン) と *I<sub>e2</sub>* (二次電子) が加わるので、次式(1)を満足させる必要がある。

【0040】

【数1】

$$I_{e1} = I_{i1} - I_{i2} + I_{e2} \quad \dots \quad (1)$$

【0041】*I<sub>i2</sub>*と*I<sub>e2</sub>*は照射位置や表面の加工状態により、常に異なることが問題となる。そこで、本発明装置では加熱電流によって加熱ヒーター9を駆動して、接地した熱電子放出電極11を熱電子(図中に中和電子*I<sub>e3</sub>*として表示)が放出されるまで加熱する。

【0042】図3は、熱電子放出電極11をタングステンで形成し、1600Kに加熱したときの加工表面と熱電子放出電極11との電位差を横軸に、熱電子放出電流密度を縦軸に示した特性曲線図である。図示のように、リチャードソン・ダッシュマンの式から熱電子放出電流密度は約  $7.5 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$  となるから、集束イオンビーム1の電流*I<sub>i1</sub>*(図2に表示)が1nAであれば、直径0.05cmの熱電子放出電極11で熱電子電流としては十分である。チャージアップによって加工部分の電圧が上昇し始めると、図の横軸に示した加工対象物12の加工表面と熱電子放出電極11との電位差が大きくなり、熱電子放出電流*I<sub>e1</sub>*(図2に表示した中和熱電子電流)は上昇し始める。そして、式(1)が満足されるまで、*I<sub>e1</sub>*が上昇して加工表面と熱電子放出電極との電位差が約0.5V以内で自動的に中和が行われる。

【0043】従来の一般的なフィラメントを直接熱電子放出電極11に用いると、加熱のための加熱電流による電位降下により、加工対象物12の加工表面と熱電子放出電極11との電位差が数ボルト程度大きくなり、正確な中和電流を供給することができないが、本発明装置では加熱ヒーター9と熱電子放出電極11とは耐熱性で高熱伝導性の絶縁物10により電気的に絶縁されているため、加熱電流による電位降下がなく正確に中和電流を供給することができる。

【0044】(4) SIM像のコントラスト改善機構の詳細説明

次に、SIM像のコントラスト改善機構について説明する。文献: 日本電子顕微鏡学会関東支部編、共立出版発行、第26頁～第29頁(1976年)の「走査電子顕微鏡の基礎と応用」によれば、SIM像のコントラストの成因は傾斜効果、加速電圧効果、原子番号効果などが挙げられる。しかし、ほとんどは加工対象物12の表面の凹凸に関係する傾斜効果と原子番号効果の影響が大き

い。この傾斜効果は、集束イオンビーム1の加工対象物12の表面への入射角度が直角よりも小さくなるほど、二次荷電粒子の発生量が多くなることである。

【0045】図4は、加工表面における集束イオンビーム1の照射面(加工表面)の凹凸による二次イオン*I<sub>i4</sub>*の放出の様子を模式的に示した断面図である。図に示すように、集束イオンビーム1が照射表面に対して直角に入射した場合をA、直角でない場合をBとする。また、図5に照射面の拡大図を示す。集束イオンビーム1の光軸をZ軸とし、X軸に対して照射面の傾きをθとする。この時の集束イオンビーム1の進入深さをPとすると、内部で発生した二次荷電粒子が照射表面に到達する最短距離は  $P \cos \theta$  となる。従って、この距離が短くなれば、すなわち角度θが90°に近づくほど表面に到達するまで失われる二次荷電粒子が少なり、表面から放出される二次荷電粒子は多くなる。

【0046】ここでθが0°の時(照射表面に直角にイオンビーム1が入射した時、すなわち、図4のAの状態に相当)、表面から放射される二次荷電粒子総数を1とすると、二次荷電粒子総数  $N(\theta)$  は簡単に次式(2)になると仮定する。

【0047】

【数2】

$$N(\theta) = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad \dots \quad (2)$$

【0048】従来、SIM像を得る場合、二次荷電粒子のうち、電子かイオンのいづれかを電界により選択して、放出された全ての電子あるいはイオンを検出していた。よって、二次電子あるいは二次イオンの粒子数は式(2)により、図4のBに示したように直角でない場合の方が多いことから、照射面の傾きの違いによる粒子数の差を表面の凹凸情報として用いてきた。しかし、照射面の傾きが大きく違わない場合は、その凹凸がわかりにくくコントラストが悪いことになる。ここで、二次荷電粒子が最短距離  $P \cos \theta$  の延長線と表面との交点Cの一点から放出され、同じ大きさの運動エネルギーを持っているとし、各二次荷電粒子の表面との放出角をθ'とする。文献:「スパタリング現象 基礎と薄膜・コーティング技術への応用」、金原著、東大出版会発行、第27頁～第29頁(1984年)によれば、交点Cから放出される二次荷電粒子数の角度分布は  $\sin \theta'$  に比例する。従って、放出角度θ'に対する二次荷電粒子数  $N'(\theta')$  は次式(3)となる。

【0049】

【数3】

$$N'(\theta') = \frac{N(\theta) \sin(\theta')}{2} \quad \dots \quad (3)$$

【0050】本発明の装置では、図2に示したように第2エネルギー選択メッシュ電極8の電圧  $V_2$  が正極性で

あると二次電子、負極性であると二次イオンを選択して第1エネルギー選択メッシュ電極7（V<sub>2</sub>と異なる電圧V<sub>1</sub>が印加されている）と第2エネルギー選択メッシュ電極8間に引き込む。ここで二次荷電粒子の速度方向をX方向とZ方向に分けて考えると、二次荷電粒子の運動\*

$$E(\theta, \theta') = 1 \cdot \sin(\theta + \theta') \dots (4)$$

【0052】第2エネルギー選択メッシュ電極8で二次電子あるいは二次イオンに選択された二次荷電粒子は、Z方向の運動エネルギーとして、選択のための加速エネルギーE<sub>acc</sub>（メッシュ電極8による加速エネルギー）により

$$E(\theta, \theta') = 1 \cdot \sin(\theta + \theta') + E_{acc} \dots (5)$$

【0054】さらに第1エネルギー選択メッシュ電極7と第2エネルギー選択メッシュ電極8と間に引き込まれた二次荷電粒子は、この間の減速電界（電位差△V=V<sub>2</sub>-V<sub>1</sub>による）によりE<sub>dec</sub>（メッシュ電極7による★

$$E(\theta, \theta') = 1 \cdot \sin(\theta + \theta') + E_{acc} - E_{dec} \dots (6)$$

【0056】すなわち、式（6）の運動エネルギーE（θ, θ'）が負になったものは、第1エネルギー選択メッシュ電極7を通過することができず、正の運動エネルギーの二次荷電粒子のみが通過して検出されることになる。

【0057】図6は集束イオンビームの照射面（加工表面）の傾斜角度0°に対するSIM像のコントラストの傾斜角依存性を示した特性図である。すなわち、二次荷電粒子の放出時の運動エネルギーの大きさに対して、放出時のZ方向の運動エネルギーE（θ, θ'）の大きさの40%（曲線②で表示）、50%（曲線③で表示）、80%（曲線④で表示）、90%以上（曲線⑤で表示）のもののみ、第1エネルギー選択メッシュ電極7を通過させた場合の照射面（加工表面）の傾斜角度0°のときの通過粒子数と傾斜角度0°以上のときの通過粒子数の比（コントラスト）を示した。

【0058】図示のように80%、90%を通過させると従来のエネルギー選択をしない方式（曲線①で表示）とほぼ同じコントラストしか得られないが、50%（曲線③）では30°で1.4倍、60°で1.8倍のコントラストが得られる。このように50%のエネルギー選択をした場合には、検出される二次荷電粒子数の総数は減少するが、照射面の傾きに対してコントラストが敏感に反応して、SIM像により表面の凹凸情報が正確に得られる。

【0059】さらに本発明ではコントラスト増加に伴う検出感度減少に対して、図1に示したようにイオン-電子変換電極5により、選択された二次イオンを二次電子15に変換する際の增幅作用と、ライトガイド3による光検出器までの効率の良い光伝送により、感度減少分を補正してSIM像観察に十分な輝度を得ている。

【0060】なお、熱電子放出電極11と第2エネルギー選択メッシュ電極8との幾何学的配置によっては、加工対象物12から放出された二次イオンのZ方向の運動

\*エネルギーの大きさを1とおいた場合、角度θとθ'に対するZ方向の運動エネルギーE（θ, θ'）は次式（4）となる。

【0051】

【数4】

$$E(\theta, \theta') = 1 \cdot \sin(\theta + \theta') \dots (4)$$

※一）が加わっているので次式（5）を満足している。

【0053】

【数5】

$$E(\theta, \theta') = 1 \cdot \sin(\theta + \theta') + E_{acc} \dots (5)$$

★減速エネルギー）が引かれて運動エネルギーは次式（6）となる。

【0055】

【数6】

$$E(\theta, \theta') = 1 \cdot \sin(\theta + \theta') + E_{acc} - E_{dec} \dots (6)$$

エネルギーのみを独立して、加速することはできない。そのため、同時にX方向の運動エネルギーをも加速する可能性があるが、第1エネルギー選択メッシュ電極7と第2エネルギー選択メッシュ電極8間の減速電界がZ方向のみに加えられていれば、実施例に記載したエネルギーを選択して検出する方法は問題なく利用することができる。

【0061】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明により所期の目的を達成することができた。すなわち、本発明によればチャージアップにともなう加工表面部の電圧上昇により自動的に熱電子を放出して中和する機構（自動チャージアップ中和機構）を採用しているので、加工表面のチャージアップによる集束イオンビームの照射位置ずれを防止して電気的絶縁物のSIM像を常に正確に観察でき、高精度に加工できるようになった。

【0062】また、本発明によれば二次イオンのエネルギー選択検出とイオン-電子変換検出機構（SIM像のコントラスト改善機構）を採用しているので、加工表面の傾斜角度に対するコントラストを上げることができて加工表面の凹凸情報を正確に検出し鮮明なSIM像が得られるようになった。

【図面の簡単な説明】

40 【図1】本発明の一実施例を示すチャージアップ中和機構と二次イオン検出機構を用いた集束イオンビーム加工装置の要部断面図。

【図2】本発明のチャージアップ中和機構の構造を示す要部断面拡大図。

【図3】タンクステンの熱電子放出電極を1600Kに加熱したときの加工表面と熱電子放出電極との電位差に対する熱電子放出電流密度を示す特性図。

【図4】加工表面での集束イオンビームの照射面（加工表面）の凹凸による二次イオン放出の様子を示す断面図。

【図5】集束イオンビームの照射面（加工表面）から放出される二次イオンの放出される角度分布を示す図。

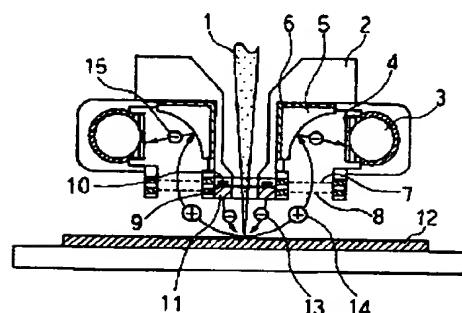
【図6】集束イオンビームの照射面（加工表面）の傾斜角度0°に対するS I M像のコントラストの傾斜角度依存性を示す特性図。

【符号の説明】

- 1…集束イオンビーム、
- 2…イオンビームコラム、
- 3…ライトガイド、
- 4…シンチレータ、
- 5…イオン-電子変換電極、
- 6…絶縁物、
- 7…第1エネルギー選択メッシュ電極、
- 8…第2エネルギー選択メッシュ電極、
- 9…加熱用ヒーター、
- 10…耐熱性、高熱伝導性の絶縁物、
- 11…熱電子放出電極、
- 12…加工対象物、
- 13…中和電子、
- 14…二次イオン、
- 15…二次電子、
- 16…試料台。

【図1】

図1

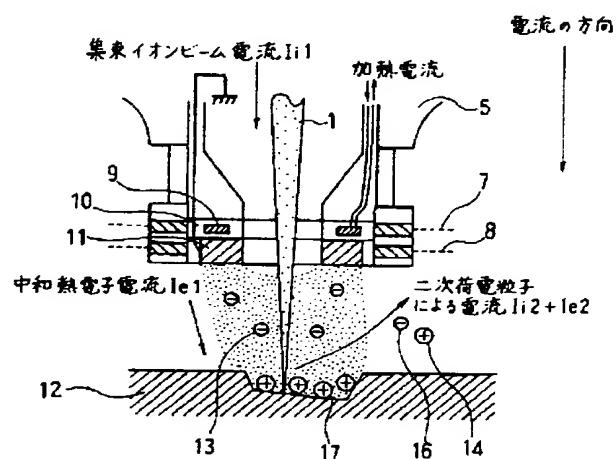


- 1…集束イオンビーム
- 3…ライトガイド
- 4…シンチレータ
- 5…イオン-電子変換電極
- 6…絶縁物
- 7…第1エネルギー選択メッシュ
- 8…第2エネルギー選択メッシュ
- 9…加熱用ヒーター
- 10…耐熱性、高熱伝導性絶縁物
- 11…熱電子放出電極
- 12…加工対象物
- 13…中和電子
- 14…二次イオン
- 15…二次電子

- 16…第1エネルギー選択メッシュ電極、
- 17…第2エネルギー選択メッシュ電極、
- 9…加熱用ヒーター、
- 10…耐熱性、高熱伝導性の絶縁物、
- 11…熱電子放出電極、
- 12…加工対象物、
- 13…中和電子、
- 14…二次イオン、
- 15、16…二次電子、
- 10 17…集束イオンビームによる蓄積イオン、
- 18…試料台。

【図2】

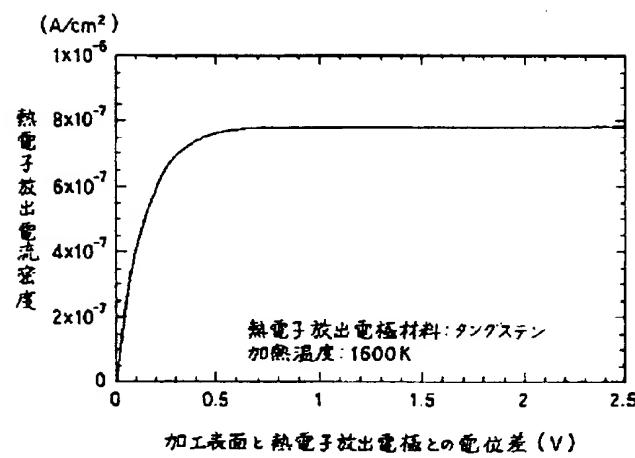
図2



- 1…集束イオンビーム
- 5…イオン-電子変換電極
- 7…第1エネルギー選択メッシュ
- 8…第2エネルギー選択メッシュ
- 9…加熱用ヒーター
- 11…熱電子放出電極
- 12…加工対象物
- 13…中和電子
- 14…二次イオン
- 16…二次電子
- 17…集束イオンビームによる蓄積イオン

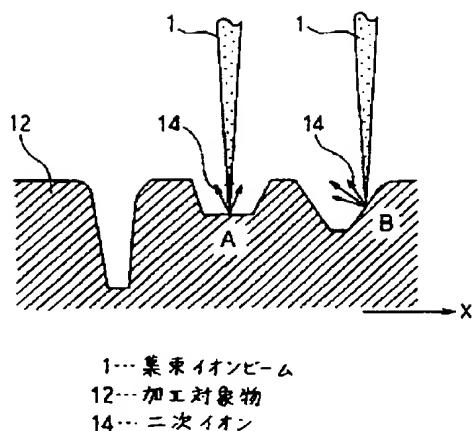
【図3】

図3



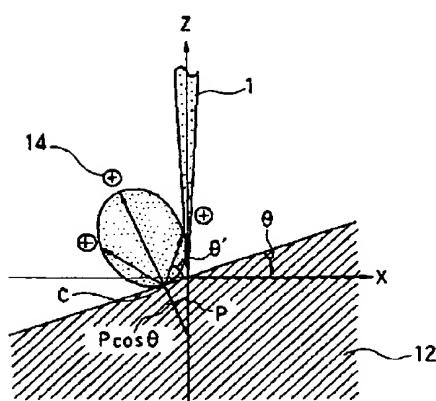
【図4】

図4



【図5】

図5



【図6】

図6

